

グリーンナノ企画特集<第12回>

つくば 3E (環境・エネルギー・経済) フォーラムからのメッセージ

—環境モデル都市とグリーン化革新技術開発の展開—



筑波大学 生命環境科学研究科 井上勲 教授に聞く

1. はじめに

21世紀に入り地球規模での環境問題・エネルギー問題・経済問題は相互に絡み合っており、問題解決に向けた具体的な施策の構築とその実行がグローバルに要請されている。つくば地域では、産学官に民も加わる形でこの問題に立ち向かおうとしており、低炭素社会を目指して2007年12月15、16日に第1回つくば3Eフォーラム(Tsukuba Environment-Energy-Economy Forum)会議を、2008年5月31日、6月1日に第2回、そして、2009年8月8日に第3回つくば3Eフォーラム会議を開催している。

本NanotechJapan Bulletinでは、2008年8月発行の第6号以来グリーンナノ特集を掲載しているが、今回その特集の一環として、筑波研究学園都市を中心に地域社会のみで低炭素社会、持続可能社会を目指すプロジェクトの活動を採り上げた。このプロジェクトの発信するメッセージを読み取ることは、ナノテクノロジーの役割を理解する上で参考になるとの考えである。

そこで、つくば3Eフォーラム開催の道筋をつけてその実現に導かれ、フォーラムの議長を務められた筑波大学井上勲教授を訪問し、フォーラムのお話を伺うのと併せて、教授のご専門である藻類についてバイオマスエネルギーの観点から話を伺った。

(取材日：2009年2月26日)

2. つくば3Eフォーラム企画の背景と経緯

2006年3月26日、内閣府の総合科学技術会議で策定した第3期科学技術基本計画が発表され、地域における大学、研究機関が連携し先端領域におけるイノベーション創出体制を構築すること、また国際活動を戦略的に行うべきことが示された。井上教授は、丁度この時期に筑波大学の生命環境科学研究科の科長になられ、国立大学

法人化に対応する将来計画を立てる立場にあった。第3期科学技術基本計画に沿うべく、その主旨を研究現場に浸透させることについて内閣府に相談し、当時の松田岩男科学技術政策担当大臣および総合科学技術会議の議員3名のつくば市での講演会が実現した。大臣の「つくばは世界に知られていない。つくば頑張れ。世界のつくばになれ。」との叱咤激励に講演会は大変盛り上がった。

こうした意識の高まりを現実の活動に繋げる必要があると考えた教授が、人材育成に焦点をあて、各種研究機関内に連携大学院を作る案を考え各研究機関と交渉を重ねている時、或る研究所の理事長から、「筑波研究学園都市全体を変えるような、多くの研究機関が参加できるプロジェクトを筑波大学から提案すべき」との示唆があった。

将にその頃ドイツのハイリゲンダムで開催されたG8サミットで、日本が提案したクールアース50、即ち、2050年までに温室効果ガスの排出量50%削減の提案が合意された。また、IPCC(気候変動に関する政府間パネル Intergovernmental Panel on Climate Change)第4次評価報告書も出て[1][2][3][4](表1)、気候温暖化等の環境問題が社会問題になってきた。

こうした状況下で、筑波研究学園都市全体が関わるテーマとして、「環境問題、低炭素化の追及(エコシティー)」が決まった。環境問題には安心・安全などに係わる問題も沢山ある。総合大学である筑波大としては全学的取り組みとなり、外部との連携と共に、従来あまり行われなかった大学内部の連携も行うことになる。

具体的なエコ・シティー構想を作成して学内、各研究機関、県や市を対話して回った。まず産業技術総合研究所が賛同し、環境・エネルギーの研究開発を中心につくば3Eフォーラムを開催する案ができた。これに国立環境研究所、物質・材料研究機構、茨城県、つくば市が加わってフォーラムの具体的な構想が固まった。

表1 IPCC第4次評価報告書第1～第3作業部会報告書概要 [2][3][4]より抜粋
 IPCC第4次評価報告書は130カ国以上からの450名超の執筆者、
 800名超の執筆協力者、2500名以上の専門家の査読者により作成

第1作業部会	自然科学的根拠：気候システム及び気候変化についての評価を行う。 気候変化の要因：大気中の二酸化炭素濃度は産業革命前よりはるかに高くなっている。 近年の気候変化の観測：1956～2005年の温度上昇は0.13℃/10年で、1906～2005年の傾向のほぼ2倍。 山岳氷河と積雪面積の減少。グリーンランドと南極の水床の減少による水位の上昇(20世紀中で0.17m)。1970年以降、熱帯・亜熱帯地域においてより厳しく長期の旱魃観測地域が拡大。極端な気温変動、暑い日・暑い夜・熱波の発生頻度増大。北大西洋の熱帯低気圧の強度が増加。 古気候学的観点：過去12万5千年前(最終間氷期)の極地の気温は今より3～5℃暖かったために、平均海面水位は20世紀より4～6m高かった可能性が高い。 気候変化の理解と原因特定：気温上昇は人為的な温室効果ガスの増加による可能性が高い。 将来の気候変化の予測：21世紀末に於ける平均気温の上昇幅予測は社会的な排出量シナリオにより1.1～6.4℃まで異なる。海面の上昇量予測結果は今世紀末で18～59cm。正の炭素循環フィードバック(例：温暖化⇒土壌有機物分解が加速しCO ₂ 放出、海洋のCO ₂ 取り込み量低下⇒大気中のCO ₂ 増加⇒温暖化加速)により、従来予想以上の温暖化の可能性あり。
	影響・適応、脆弱性：生態系、社会・経済等の各分野における影響及び適応策についての評価を行う。 自然・人間社会への影響について分かったこと：湖沼や川の水温上昇に伴う水環境や水質への影響、陸上生態系への影響(春期の早まり、極域や高地への動植物の移動)。海洋・水生生物への影響(藻類、プランクトン、魚群の生息域と存在量の変化)。農業での耕作時期の変化、森林での火災・害虫問題。 将来の影響について分かったこと：1.5～2.5℃の平均気温上昇により、約20～30%の種の動植物の絶滅リスクが高まる。1.5～2.5℃以上上昇幅で、大気中のCO ₂ 濃度が上昇すると、生態系の変化により、水や食糧の供給などにも悪影響が予想される。海洋の酸性化の進行により、珊瑚や貝類、さらにそれらに依存する種に悪影響が予想される。今世紀半ばまでに、中緯度の地域と半乾燥低緯度地域で利用可能水量10～30%減少が予測されている。旱魃を受ける地域の増大、洪水リスクの増加が予測される。
第3作業部会	気候変動の緩和(策)：気候変化に対する対策(緩和策)についての評価を行う。 温室効果ガスの排出傾向：1970年から2004年までに70%増加。最も増えたのはエネルギー供給部門からの排出で、145%増加した。次は運輸部門120%、産業部門65%である。 短・中期的な緩和策(2030年まで)：経済ポテンシャルの研究は、今後数十年にわたり温室効果ガス排出量を緩和するだけの相当な経済ポテンシャルがあることを示している。エネルギー供給・運輸・工業・農業・林業の各部門における施策、廃棄物利用、などが効果を発揮する。 長期的な緩和策(2030年以降)：温室効果ガス濃度の長期的な低レベル安定化には、今後20～30年での緩和と努力が大きく影響。重点分野は、エネルギーの保全と効率化、再生可能エネルギー(バイオマスエネルギー等)、原子力、炭素回収・貯蔵である。 政策、措置、手法：温室効果ガスの排出緩和を促すインセンティブの策定(炭素価格の設定等)、R&Dに対する政府支援、CDM(クリーン開発メカニズム)プロジェクトによる途上国への資金の流れ、等の施策が重要。

3. つくば3Eフォーラム開催(第1回および第2回会議)とその意義

3.1 第1回フォーラム会議 --- 現状認識と情報の共有

キックオフミーティングである第1回フォーラム会議は2007年12月15日、16日筑波大学の大会館で開催された[5][6]。内外の地球温暖化への取り組みやエネルギー資源の今後の動向などの報告、これに対して「つくばは何をもって貢献できるか」の議論がなされ、バイオマスエネルギー技術、燃料電池、太陽電池など多くの技術を持っていることが認識された。なお、フォーラム会

議には岸田文雄 科学技術政策担当大臣のビデオ出演でのメッセージ、相澤益男 総合科学技術会議議員の特別講演があり、つくばに対する期待が述べられた。

最後にフォーラム実行委員会が作成した「つくば3E宣言2007」を井上議長が披露した。

- ・2030年につくばにおけるCO₂排出50%削減を目指すこと。
- ・2008年7月開催の洞爺湖サミットを見据えて同年の前半に第2回つくば3Eフォーラム会議を国際会議として開催すること。
- ・長期に亘る活動を継続発展させるための、「3Eフォーラム」および「エコシティー・イニシアティブ」運営・実

施体制を構築すること。
 などが掲げられている。

フォーラムの企画者には、「つくばに揃っている各分野の研究機関や大学が、環境、エネルギー、経済の観点で問題意識を持って連携する」体制作りを狙いがあった。一方、内閣府としても筑波研究学園都市を活性化したいという元からの考えがあり、フォーラムを支援してくれた。両者の想いが相俟ってフォーラムの成功に繋がった、と井上教授は語られた。

第1回フォーラム会議に前後して、次の3つのタスクフォースをスタートさせた。筑波研究学園都市の大学、研究機関から大勢の研究者が参加し、それぞれの分野で現状と今後の可能性を議論することを狙いとしている。

- ① 燃料・太陽電池
- ② バイオマスエネルギー
- ③ 都市交通

ここで都市交通を取り上げた狙いは、つくばは地域が広がっていて車社会となっているからである。狙いは違わず、大変多くの参加者を得て盛況であったとのこと。

丁度この時期に当時の福田首相の施政方針演説のなかで、環境モデル都市10箇所を選定することが述べられた。市に働きかけ、つくばもこれに立候補することとなった。そうした行動の中で、各機関間の連携意識も高めることができた。残念ながら、まだ実績のないつくば市は選定されなかったが、この動きがつくば市環境都市推進委員会の設立につながり、産学官民の各セクターが関わって、2009年3月、つくば環境スタイル行動計画が策定された。

3.2 第2回フォーラム会議 --- アクションプラン構築に向けて

連携意識を具体的実行に移してゆくために、任意団体であり、組織的に弱体であった3Eフォーラムを筑波研究学園都市交流協議会の会長（当時は岩崎洋一筑波大学学長）の下に置く筑協「つくば3Eフォーラム」委員会として強化した（図1）。同じく任意団体でも若干公的に認められ強化された体制で、第2回つくば3Eフォーラム会議の企画を進め、2008年5月31日、6月1日にフォーラム会議を開催した[7][8]。

第2回フォーラム会議では、第1回フォーラム会議以降タスクフォースで議論してきた温室効果ガス削減の可能性等について課題をまとめ今後の進め方を議論した。第1回フォーラム会議が技術に偏りすぎたとの批判もあり、第2回では市民参加とし、次の6つのテーマについてワークショップが設けられた（表2）。さらに世界の都市との連携を考慮した。

フォーラム会議は各ワークショップのリーダー達の努力により所期の成果を上げることが出来、単に低炭素化を目指すだけでなく、実現する低炭素社会での文化や健康

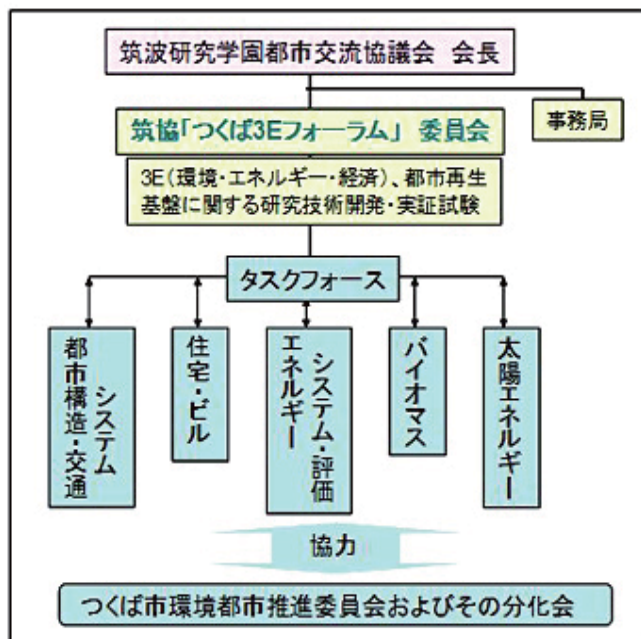


図1 つくば3Eフォーラム体制図
 (出典：つくば3Eフォーラムホームページ [9])

表2 市民参加の3Eフォーラムワークショップ

Article 1	バイオマスタウンつくばの構築に向けて
Article 2	省エネで人に優しい交通システム
Article 3	教育・文化・健康の都市づくり
Article 4	低炭素社会にむけた新エネルギー技術の活用と展望
Article 5	物資の循環利用のシステム・技術
Article 6	つくば系・低炭素社会のライフスタイルを求めて

そして市民の暮らしについても議論され、新しい課題の認識や今後の検討項目の整理が行われたと、井上教授は述べている。

このフォーラム会議のもう一つの特徴である世界の都市との連携については、英国ロンドン、米国オレゴン州ポートランド、ドイツのフライブルクおよびスウェーデンのベクショーの市の実務レベル担当者が招かれて、環境都市としての取り組みが報告された。またアジアの都市の取り組みについてはイクレイ日本事務所所長から説明がなされた（イクレイ International Council for Local Environmental Initiatives：地域活動の積み上げで持続可能な社会に向けた諸改善を意図する自治体をまとめ、その運動の拡大を図る組織。トロントに本部、世界67カ国の1,070以上（2009年3月末）の自治体が参加）。各都市は夫々大変な努力と工夫で目標を達成しており、やれば出来るということが改めて認識された。

なお、本フォーラム会議でも第1回に続き岸田文雄 科学技術政策担当大臣からビデオによる激励のメッセージがあり、また相澤益男 総合科学技術会議議員の基調講演があった。相澤議員は総合科学技術会議で2008年5月に策定した「環境エネルギー技術革新計画」[10]を紹介

表3 「環境エネルギー技術革新計画」に見る技術革新への期待
2050年世界のCO₂半減実現に向けたエネルギー革新技術の寄与度

革 新 的 技 術	高効率火力発電・CCS	12%	小計
	先進的原子力発電	12%	
	革新的太陽光発電	7%	
	産業部門（水素還元製鉄・革新的材料等）	8%	
	民生部門の省エネルギー機器（ヒートポンプ、燃料電池、IT機器等）	11%	
次世代自動車（燃料電池、電気自動車、バイオマス等）	11%		
既存技術の普及等			40%

した。そのなかで、2050年CO₂半減の目標達成には革新技術の開発が必須であり（表3）、またその技術を普及させることが必要であること、そして、筑波研究学園都市において産学官民の総合力を発揮するモデルを構築し、成果を世界に発信して欲しいとの期待を述べられた。

最後に確認された「つくば3E宣言2008」では、茨城県、つくば市、筑波研究学園都市に関係する大学・研究機関、団体、産業界および市民が連携して目標達成に向かうアクションプランを構築すべく、そのための活動指針が示された[8]。

4. タスクフォースの再編・推進

第2回つくば3Eフォーラム会議の後、そこでの議論を実行に移すべく、タスクフォースの再編が行われた。

(1) エネルギーシステムの評価タスクフォースの新設

低炭素社会を目指す活動の司令塔的タスクフォースが必要であるとの考えに基づくものである。各活動をモニタリングして、2030年目標に対して活動の進捗を評価し、その先の進め方を議論する役割を担うもので、その道のプロである筑波大学システム情報工学研究科の内山洋司教授が担当する。

(2) 太陽光利用タスクフォース

エネルギー源として自然エネルギーの中で一番効率が高い太陽光を用いる方式をとりあげた。発電の他に太陽熱の利用もあり、参加者も技術の専門家だけでなく、使い道の議論のための市民や企業も含めることで、産総研の作田宏一氏を座長として議論を進めている。

(3) バイオマスエネルギー・タスクフォース

バイオマス日本という国の方針を取り入れる形で、「バイオマスタウンつくばの実現」を目指すタスクフォースを作ることとした。つくば市も3Eフォーラムのワークショップにおいて岡田久司副市長が市はやりますと宣言しており、具体的進展が期待される。

バイオマスタウンの売りの一つは、井上教授の専門でもある藻類が作るエネルギーである。藻類から石油を採

る技術であり、筑波大学生命環境科学研究科渡邊信教授に井上教授が協力して現在実証実験を行っている。2008年10月にJSTの戦略的創造研究推進事業CRESTに採択され、平成21年度から5年間実証に向けた研究を行う。つくば市から場所の提供を受け、企業の参画も得て、産学官連携で進めることを目指している。これはつくば発の仕事になる。

その他にバイオマスタウン構想には、農業・食品産業技術総合機構が取り上げている刈り取った芝生（つくばでは占有面積が広い）の活用や、食物残渣、家庭の食用調理廃油の回収なども含まれている。これらのバイオマスによるCO₂削減量はつくば地域のCO₂発生量の5%程度と見積もられている。

5. 環境エネルギー問題のソリューションの一つ --- 藻類バイオマスエネルギー [11]

ここで、つくばバイオマスタウンの目玉である藻類バイオマスエネルギーについて伺った[6]。

5.1 藻類とは

藻類は30億年の昔から海に生息している生物である。石油は海に生息していた生物の死骸から作られたと言われているが、その元は藻類であると言われている。藻類は海洋と淡水の両方においてプランクトンのような形態で増殖しており、その種類も多い。淡水の藻類が化石化し堆積して形成されたものがオイルシェール（石油頁岩）で、火を点けると燃える（図2）。藻類のなかには乾燥重量当たり70%分のオイルを生産するものがある。米国で1978年～1996年に行われた藻類とそれ以外の植物のオイル生産能力を比較した実験結果を表4に示す。藻類の生産能力が桁違いに大きいことが解る。

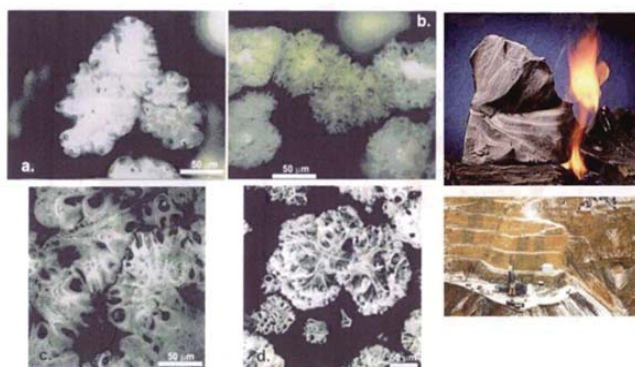


図2 オイルシェール中の藻類 (Botryococcus) の化石
(出典：つくば3Eフォーラム報告書)
(原典：Stasiuk 1999 Confocal laser scanning fluorescence microscopy of Botryococcus alginite from boghead oil shale, Boltysk, Ukraine: selective preservation of various micro-algal components. Organic Geochemistry 30: 1021 - 1026)

表4 各種植物のオイル生産能力の比較
(出典：つくば3Eフォーラム報告書)
Tons of Oil /ha/Year

トーマロコシ	0.2
大豆	0.5
ペニバナ	0.8
ヒマワリ	1.0
アブラナ	1.2
アブラヤシ	6.0
微細藻類	47 ~ 140

5.2 藻類バイオマスエネルギーへの取り組み

藻類は、光合成でCO₂を吸収し、炭化水素を生産する。炭化水素は石油の一種としてエネルギー源となる。地球環境問題とエネルギー資源問題に同時に対処できるとの考えの下、筑波大学の渡邊信教授と井上教授達はここ数年藻類バイオマスエネルギーの研究開発を始めている。

藻類エネルギーについて米国では1970年代のエネルギー危機が課題提起となって以来、研究が盛んに行われている。日本でも一時研究が行われたが、効率が悪いということで中止されている。しかし、これは素材として採り上げた藻類の品種がよくなかったためだという。今回は世界中から200近い培養株をつくり、最適なものを選んでいく。選定の基準としては、オイルの生産能力と株の増殖力、さらに、高アルカリ性の溶液での育成可能性を考えている。溶液の高アルカリ化は、大量培養時に他生物のコンタミを減らすためである。

現在採り上げている品種は Botryococcus (ボトリオコッカス) という淡水に生息する種類で、図3の写真に示すように、10 μm 位の細胞が集まって 30 ~ 500 μm のコロニーを形成している。

同図の顕微鏡写真ではオイルを染色剤で黄色にして見せている。細胞およびコロニー内部に乾燥重量の20 ~ 75%の炭化水素が蓄積されている。なお、藻類の株からのオイル採取方法については、養殖槽から株の一部を取り分けてオイルを採取し、その際株の採取量は、翌日には残りの株が増殖して元に戻るようにする方式も取り入れられている。

5.3 実用にむけての研究開発

エネルギーについての獲得量とそのための投入量との比較、および、CO₂についての吸収量と投入エネルギーで排出される量との比較を算出した結果、藻類はエネルギー獲得量とCO₂吸収量が圧倒的に多いことが分かっている。

しかし、実用化に当たっての必須条件はリーズナブルなコストが実現できるかである。現在、ライフサイクル・アセスメントを行うと155円/リットルであり、もう一桁下げる必要がある。

実用化に向けて次のような施策が進められている。藻類は光が当たって増殖するが、コロニーが大きくなれば、影の部分でもでき、効率が下がる。ところで、薄めた有機溶媒を加えると、成長が進むことが解ってきた。有機の生活廃水を1/10に希釈して加えたり、アルカリ性の工場廃液を1/10 ~ 1/100に希釈したものを加えた実験を行い、顕著な効果を確認している。

藻類の株自身については、品種改良、新たな品種の発掘も精力的に進めつつある。また、これらの藻類の基礎、応用研究と併行して、バイオマスエネルギー生産のための、藻類培養システムから油化装置までトータルシステムとしての効率化を図る工業化の研究グループが形成されている。

前述の科学技術振興機構(JST)の平成20年度CRESTに採択された研究課題「オイル生産緑藻類 Botryococcus (ボトリオコッカス) 高アルカリ株の高度利用技術」では、5年間でオイル生産効率一桁向上と、経済性を加味したパイロットプラントの設計を行うことになっている。

5.4 グローバルな動向

特に先行して積極的研究開発を進めているのは米国である。近年、従来から生産されているトウモロコシ等の食用植物からのバイオマスエネルギーから、非食用であり生産効率の圧倒的に高い藻類バイオマスエネルギーへと関心が移り、幾つかの企業は大量栽培を始めている。ボーイング社、ヴァージンアトランティック社、エンジンメーカーのGE Aviation社が10年後を目指してバイオ燃料を使う試験等を始めているが、藻類はその候補として期待されている。今年1月、アメリカでは、藻類オイル50%のジェット燃料でジャンボジェット機が飛んだ。

米国以外でも英国では既に大きなプラントができていく。オランダや韓国も強い関心を持っており、日本に協力を求めてきていると言う。現在筑波大を中心とするプ

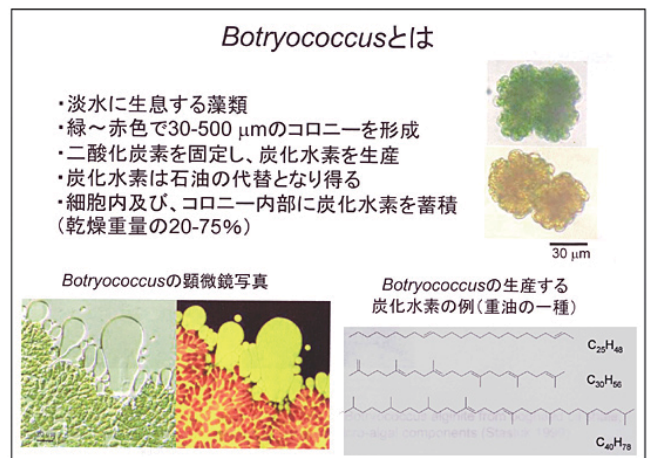


図3 藻類の Botryococcus の説明図
(コロニーの写真、オイルの内蔵を示す顕微鏡写真、炭化水素の構造図)
(出典：つくば3Eフォーラム報告書)

プロジェクトの代表者である渡邊信教授は「藻類バイオマスエネルギーで世界を救う」と意気込んでおられるとのこと。

6. むすび

筑波研究学園都市は革新的な研究開発の拠点として期待されている。温室効果ガス削減やエネルギー問題がグローバルに緊急課題となってきた今、つくばはこれにどう対応すべきかが問われたが、井上教授は、つくば 3E フォーラムを創り上げることでこれに応えた。つくば 3E フォーラムでは、真に環境問題に対応するためにはその地域の特徴を活かし、大学、研究機関および企業の活動において、さらに都市・地域の全体の活動や生活の分野までを含めてグリーン化の意識を共有して協力し合うことの必要性を謳っている。

何も無い状況から、こうした共通の意識をつくり、協力し合う体制を生み出し、全体を動きださせることができたのは、井上教授の並々ならぬご努力によるものであり、また国や地方行政の賛同・協力を得られことも大きい。

こうして創出されたモデルは世界に新しい流れを作り出すものと考えられる。今後、3E フォーラムの議論が具体的行動として成果をあげることに期待したい。なんと言ってもこの地域の特徴は、その持てる研究開発能力である。クールアース 50 の目標達成には革新技術の創出が鍵であることは 3E フォーラム会議の中でも示された。地球を救う革新技術が筑波から発信されることが望まれるが、その一つとして井上教授の専門領域の藻類のバイオマスエネルギーの話を伺った。渡邊教授の「つくば発の技術で日本は石油輸出国になる」という話もあると教授は笑われた。現実に石油の生産国となり、またその技術がグローバルに展開されることを期待したい。

ナノテクノロジーの貢献について、教授は「ナノテクノロジーは、あらゆる分野において、技術革新の鍵を提供するものであり、藻類においてもその品種改良、品種の評価・選別、株の育成、生産システム、例えばオイル改質のための触媒や効率のよい照明などにナノテクノロジーの活用を期待している」と語られた。ナノテクノロジーは新しい機能を生み出し、出来ない性能を実現し、見えないものを見えるようにする魔法の杖であるが、異なる技術分野との研究の連携、融合により、その価値が一層高まることを感じる事ができた。つくば環境モデ

ル都市が地球に貢献する成果を生み出すことを期待したい。

追記：この取材の後も、つくば 3E フォーラムの活動は進展しており、2009 年 8 月 8 日に第 3 回つくば 3E フォーラム会議が開催された。午前は「筑波環境スタイル」に関して講演およびパネル討論があり、また午後には藻類バイオマスエネルギーの発展性や動向に関し世界各国から 6 名の権威者を招待した国際シンポジウムが開催されている [12]。また、2009 年 5 月には、韓国テジョン（太田）市において、日中韓三国によるはじめての国際 3E フォーラム会議が開催された。環境エネルギーに関する協力と連携の可能性を検討するため、9 月には中国深川において事務会合が行われることになっている。（2009 年 9 月 16 日追記）

参考文献

- [1] 文部科学省，経済産業省，気象庁，環境省，“気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第 1 次評価報告書統合報告書の公表について”，（報道発表 2007 年 11 月 17 日）
- [2] 環境省，“IPCC 第 4 次評価報告書第 1 作業部会報告書概要（公式版）”，（2007 年 5 月 22 日）
- [3] 環境省，“IPCC 第 4 次評価報告書第 2 作業部会報告書概要（公式版）”，（2007 年 5 月 22 日）
- [4] 環境省，“IPCC 第 4 次評価報告書第 3 作業部会報告書概要（公式版）”，（2007 年 5 月 22 日）
- [5] 第 1 回つくば 3E フォーラム会議
- [6] つくば 3E フォーラム実行委員会，“第 1 回つくば 3E フォーラム会議報告書”，（2008 年 3 月）
- [7] 第 2 回つくば 3E フォーラム会議
- [8] つくば 3E フォーラム実行委員会，“第 2 回つくば 3E フォーラム会議報告書”，（2008 年 8 月）
- [9] つくば 3E フォーラム ホームページ
- [10] 総合科学技術会議，“環境エネルギー技術革新計画”（2008 年 5 月 19 日）
- [11] Yusuf Chisti, “Biodiesel from microalgae”(Research review paper), *Biotechnology Advances* 25 (2007) 294-306
- [12] 第 3 回つくば 3E フォーラム会議

（向井久和）